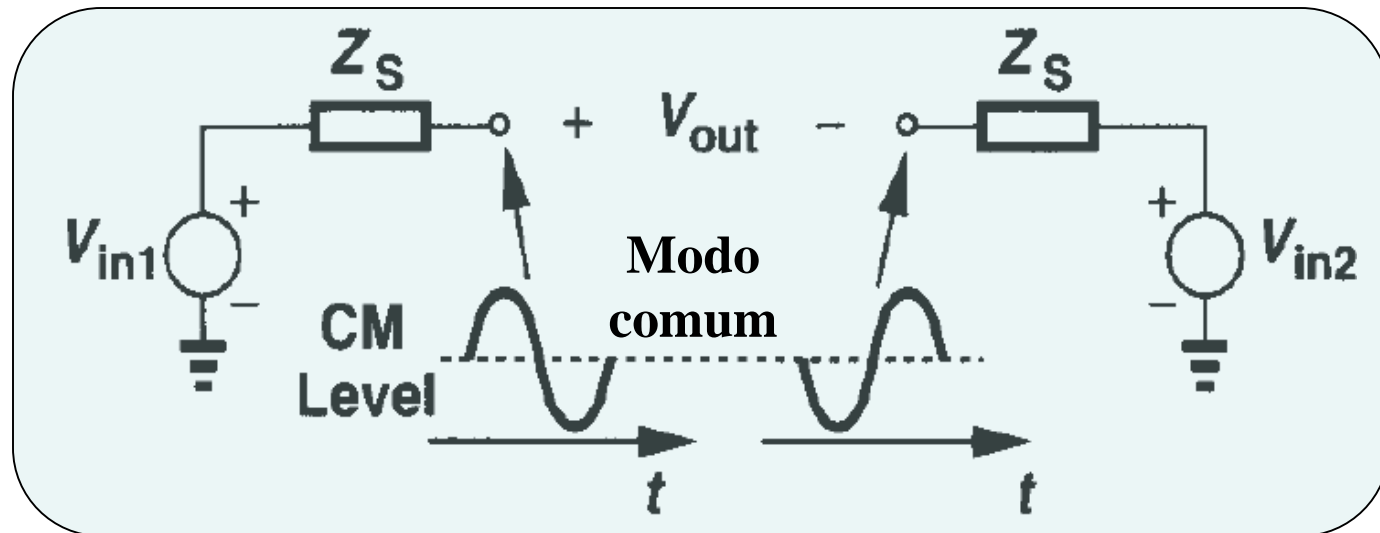
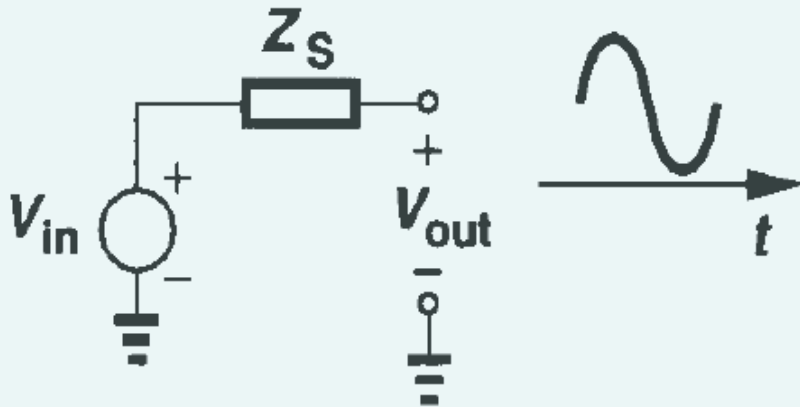


Amplificadores Diferenciais

- ✓ Sinal Diferencial x Sinal único
- ✓ Par Diferencial MOS
- ✓ Par Diferencial BJT
- ✓ Par Diferencial com carga ativa

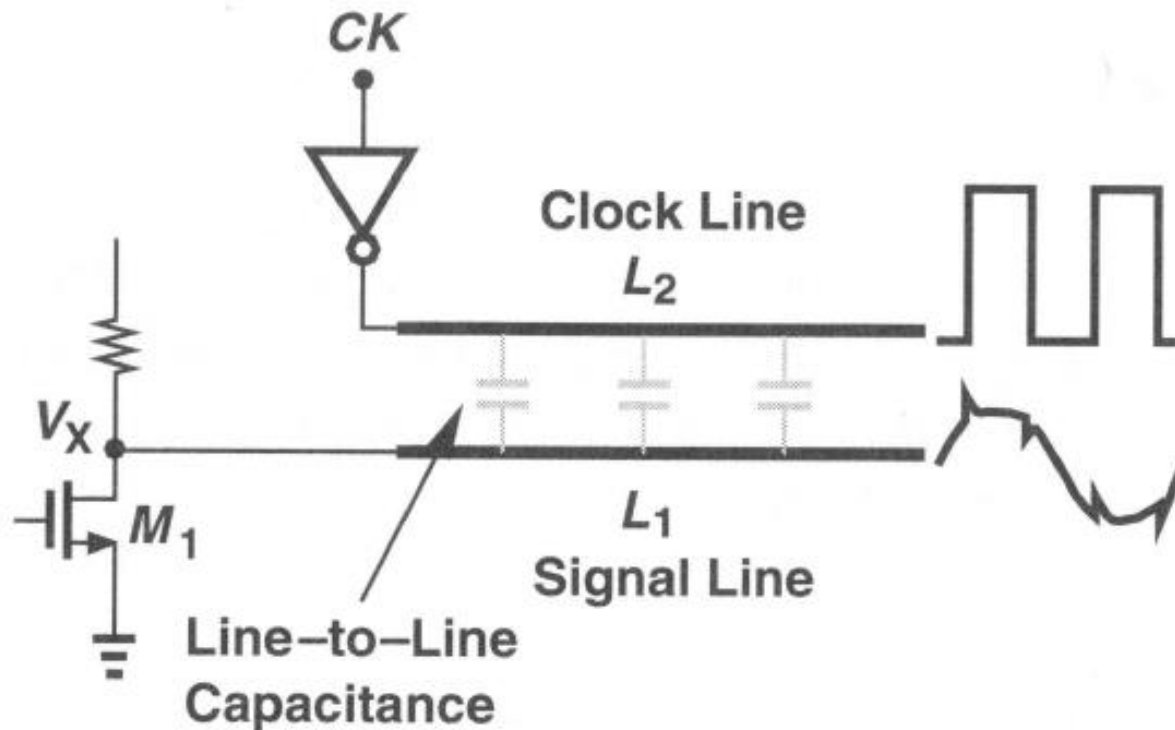
Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais



Fonte: Ravazi, B., Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGrawHill, 2001

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

Fonte de ruído devido ao acoplamento

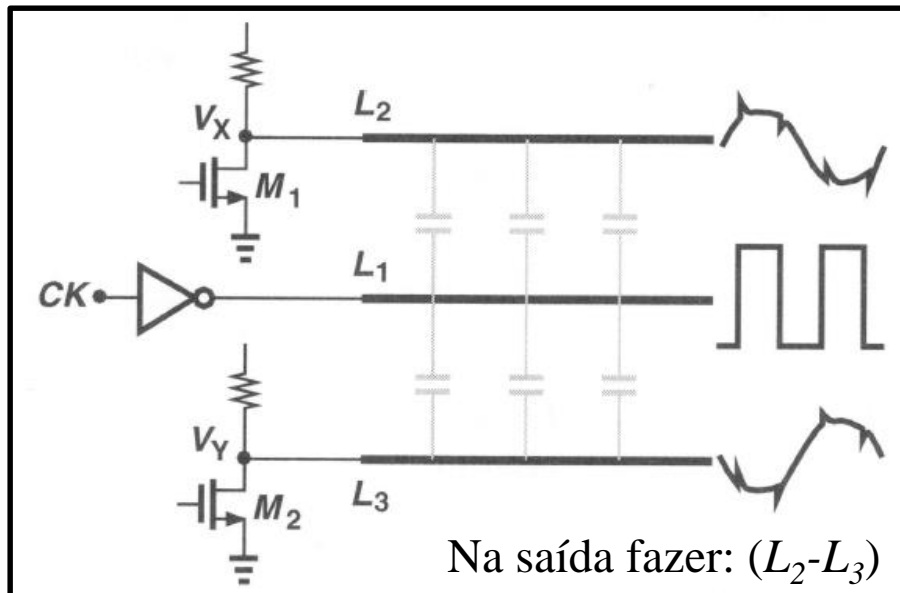


Fonte: Ravazi, B., Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGrawHill, 2001

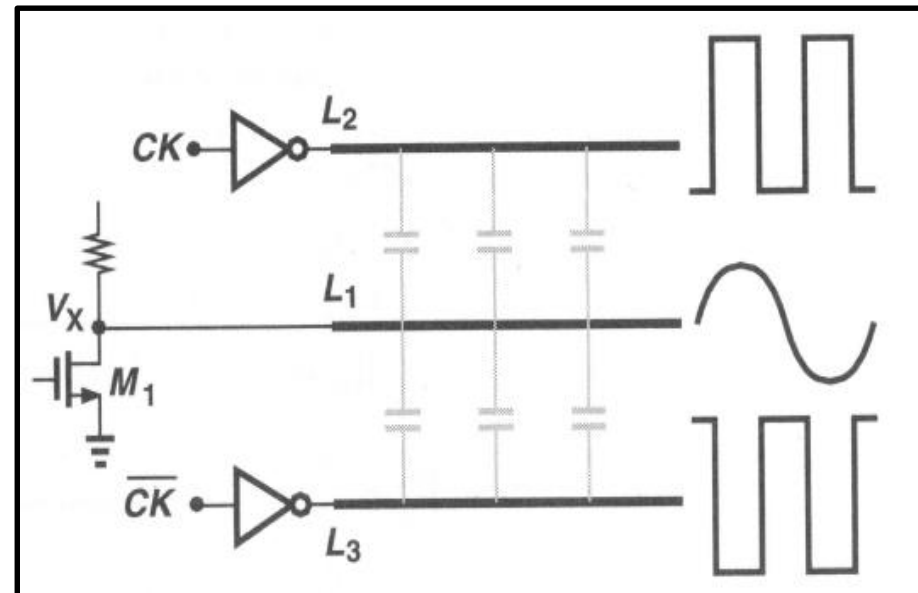
Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

Soluções para redução do acoplamento

Operação Diferencial



Sinal complementar

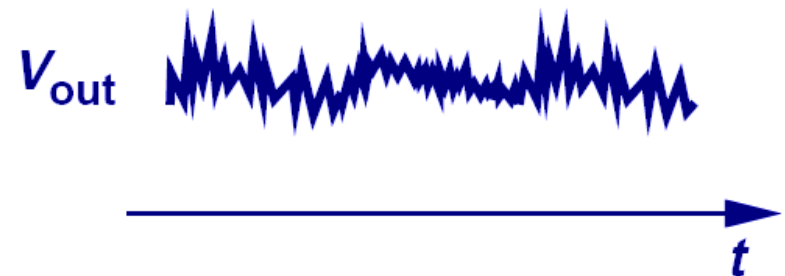
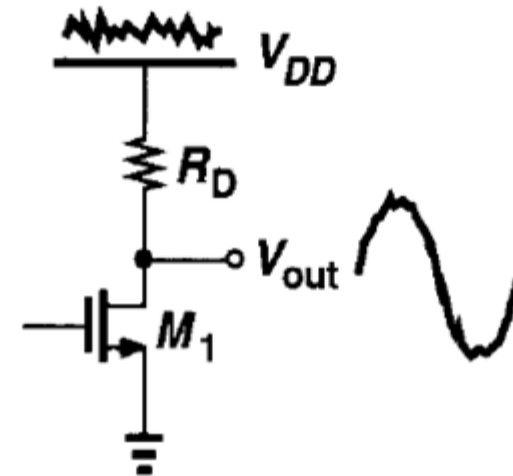
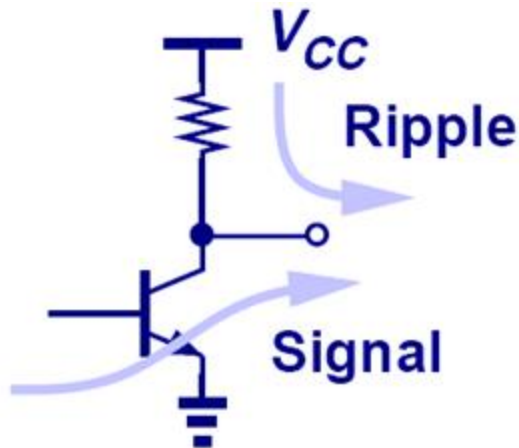


Fonte de ruído complementar

Fonte: Ravazi, B., Design of Analog CMOS Integrated Circuits, McGrawHill, 2001

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

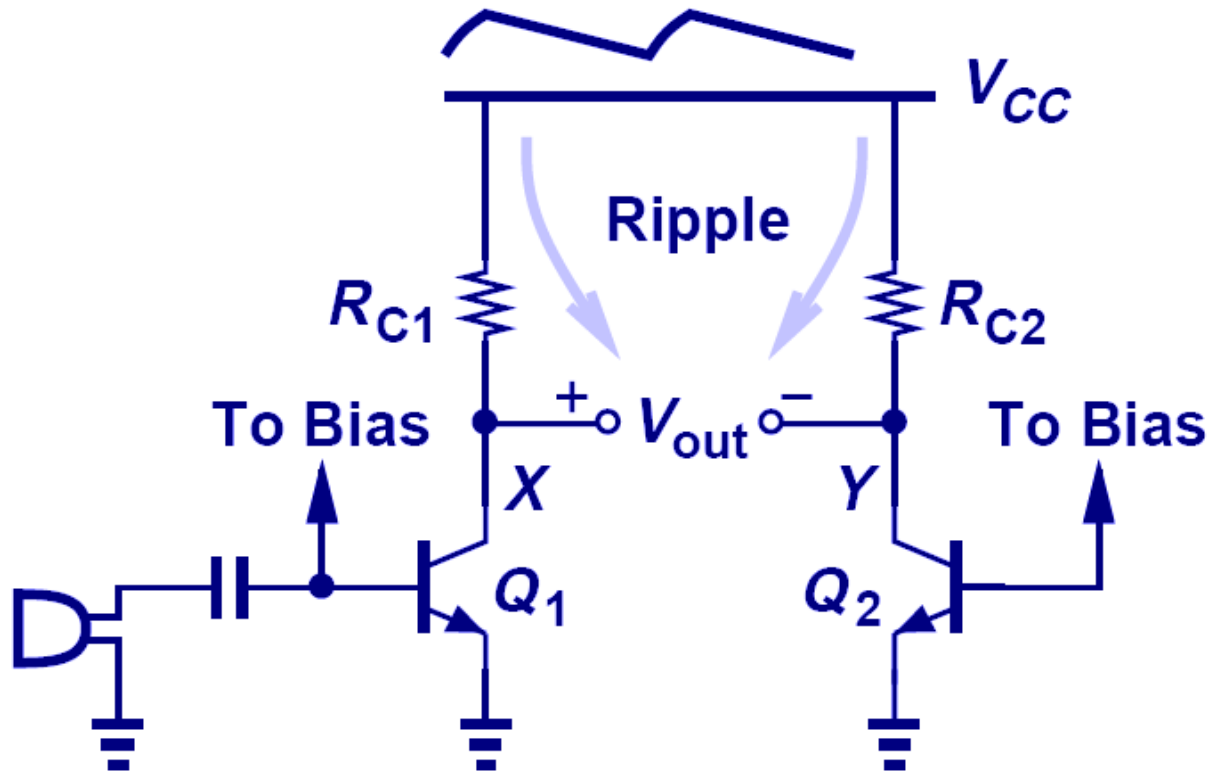
Interferência da fonte no sinal de saída



Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

Solução para redução do ruído da fonte de alimentação

Operação Diferencial



$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$

$$v_Y = v_r$$

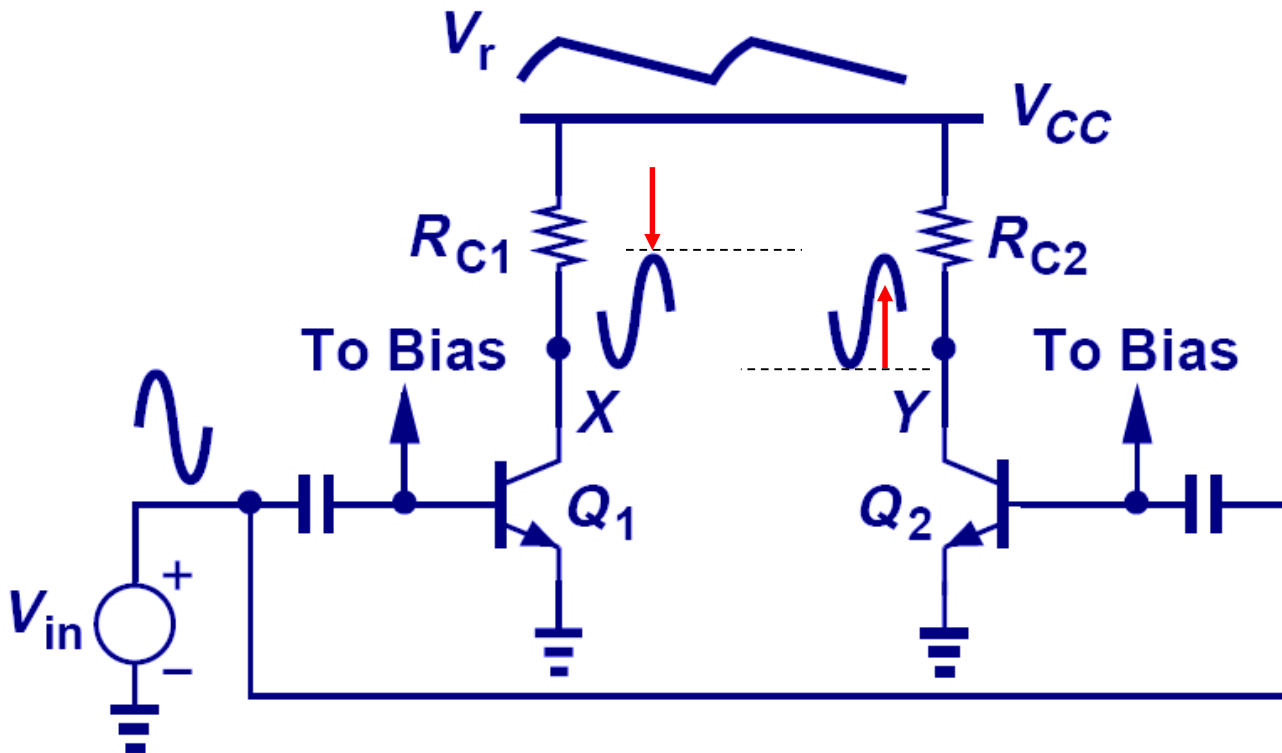
$$v_X - v_Y = A_v v_{in}$$

* V_r = ruído

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

Operação Diferencial

Sinais com mesma fase aplicados na entrada diferencial



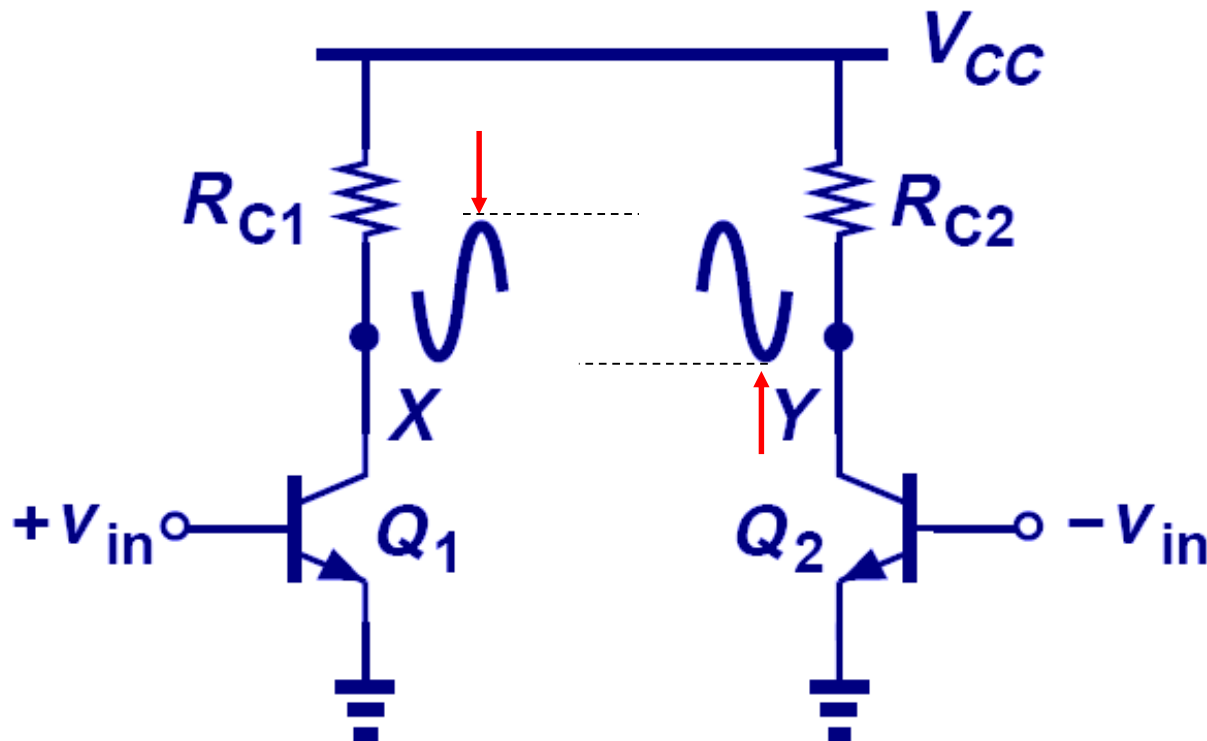
$$v_X = A_v v_{in} + v_r$$

$$v_Y = A_v v_{in} + v_r$$

$$v_X - v_Y = 0$$

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

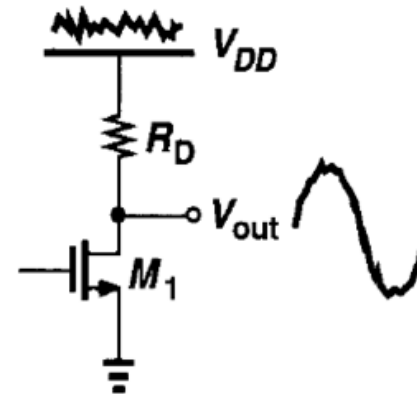
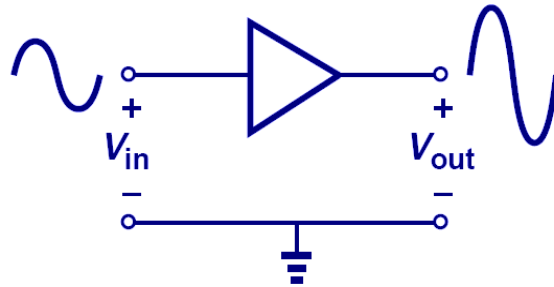
Sinais defasados 180° aplicados na entrada diferencial



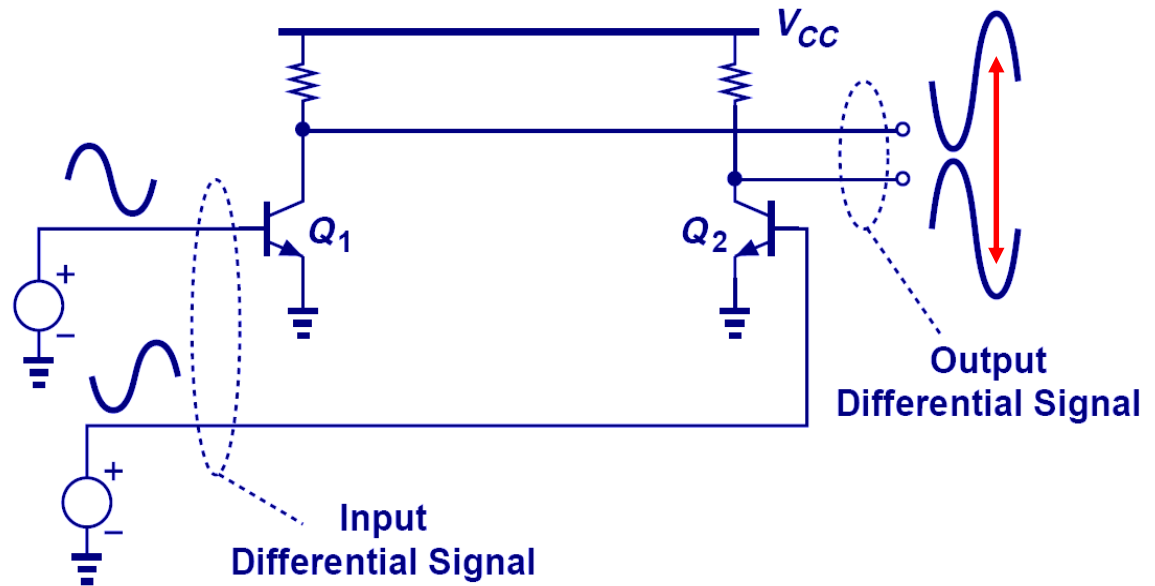
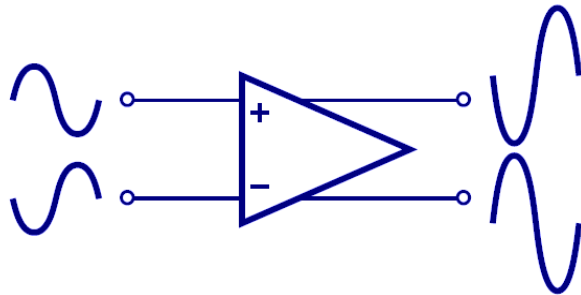
$$\begin{aligned} v_X &= A_v v_{in} + v_r \\ v_Y &= -A_v v_{in} + v_r \\ v_X - v_Y &= 2A_v v_{in} \end{aligned}$$

Ruído da fonte de alimentação é de modo comum!

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais



(a)



(b)

Sinais únicos (*single ended*) x Sinais Diferenciais

Vantagens sobre os *single-ended*

Imunidade ao ruído de modo comum (sinal e fonte de alimentação)

Maior excursão do sinal

Circuito de polarização simplificado

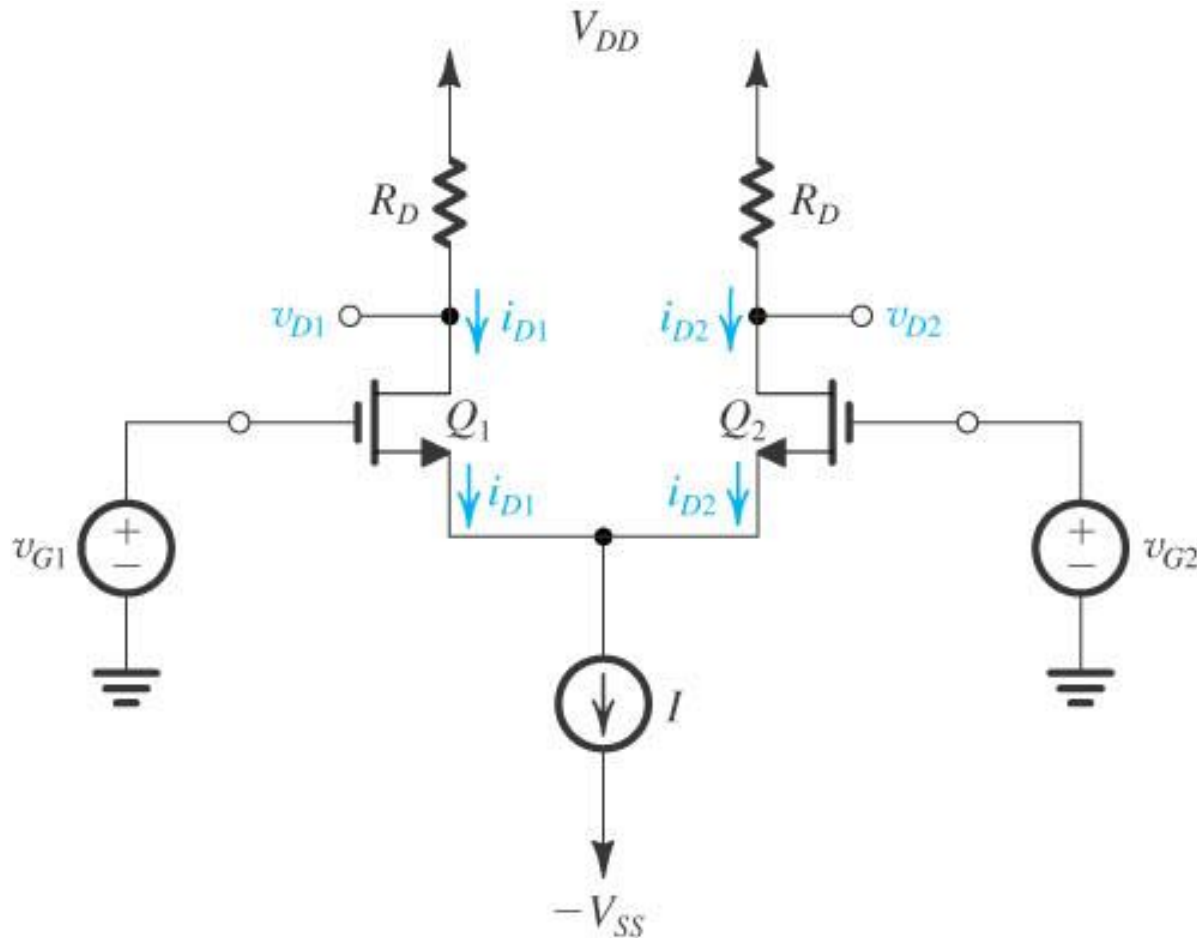
Boa característica de linearidade

“Desvantagem” da utilização de amplificadores diferenciais integrados

Consumo de aproximadamente o dobro de área

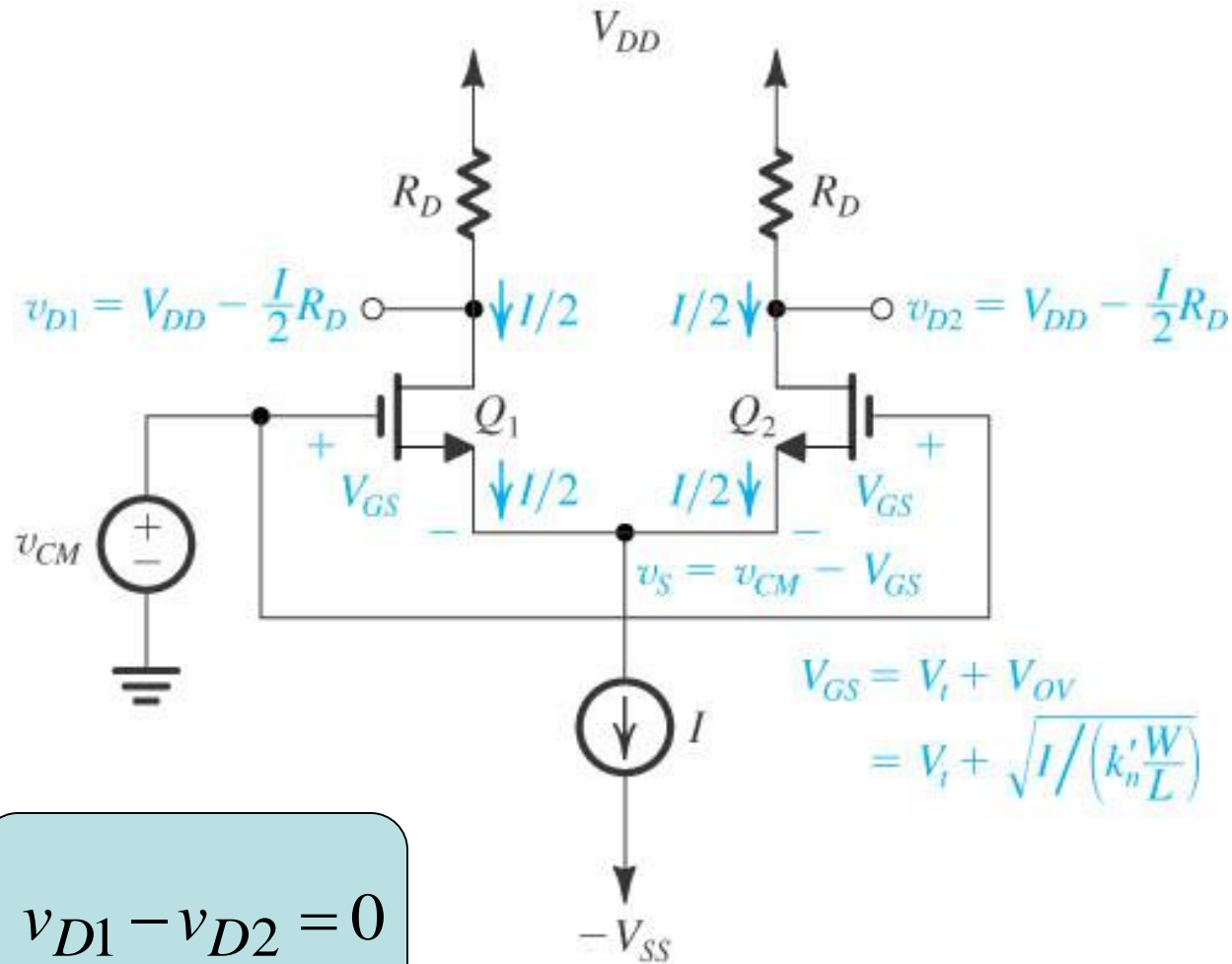
Amplificadores Diferenciais

Par diferencial MOS básico



Amplificadores Diferenciais

Operação em Modo Comum



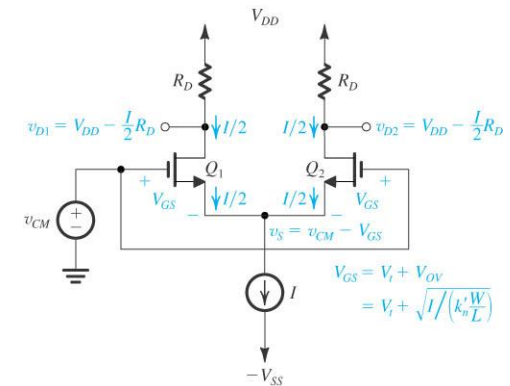
$$v_{D1} - v_{D2} = 0$$

Amplificadores Diferenciais

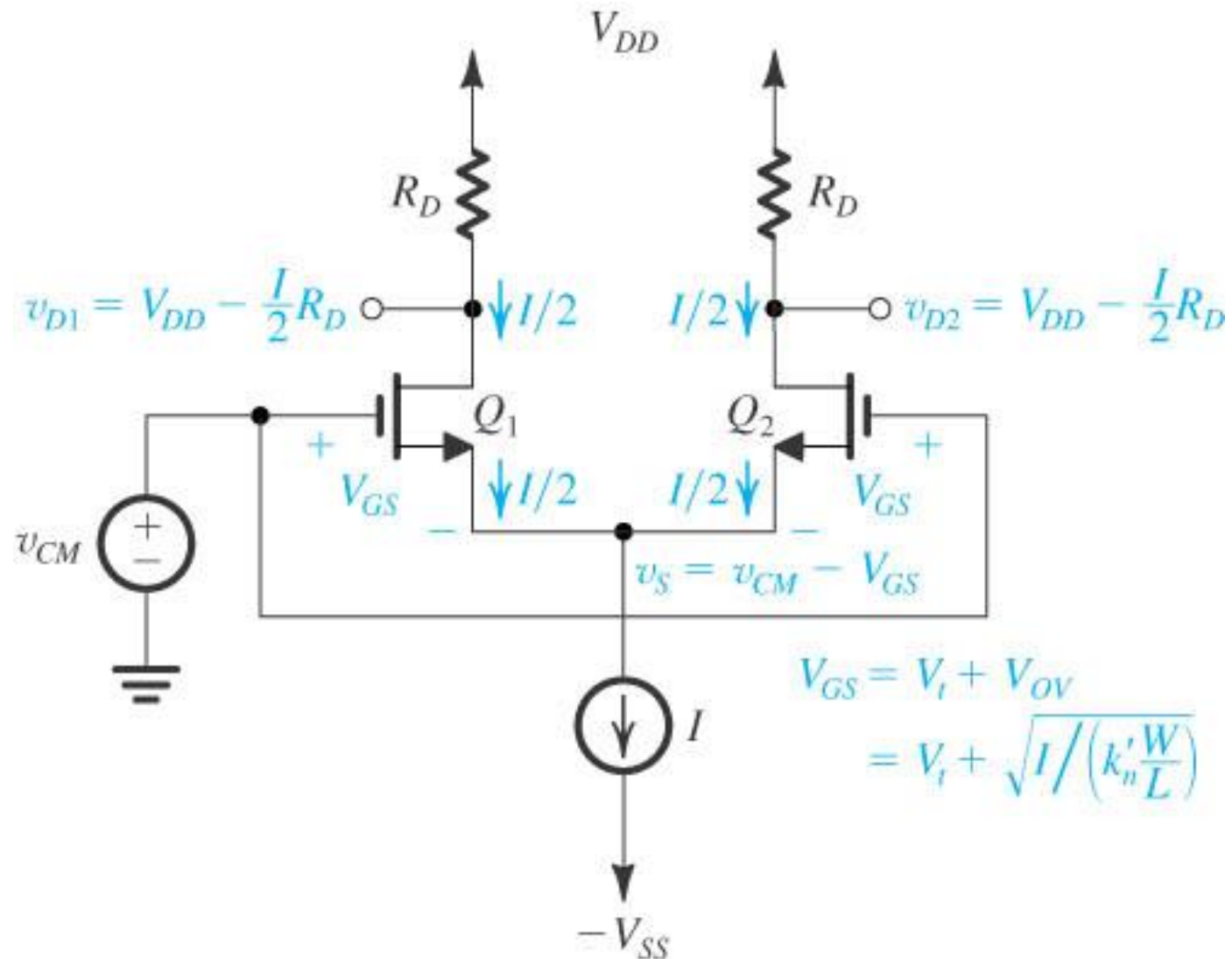
Ex. 1 - Para o par diferencial NMOS com uma tensão de modo comum v_{CM} aplicada, use:

$V_{DD} = |V_{SS}| = 1,5$ V, $k'_n W/L = 4$ mA/V², $V_{tn} = 0,5$ V, $I = 0,4$ mA, $R_D = 2,5$ k Ω e despreze a modulação do canal.

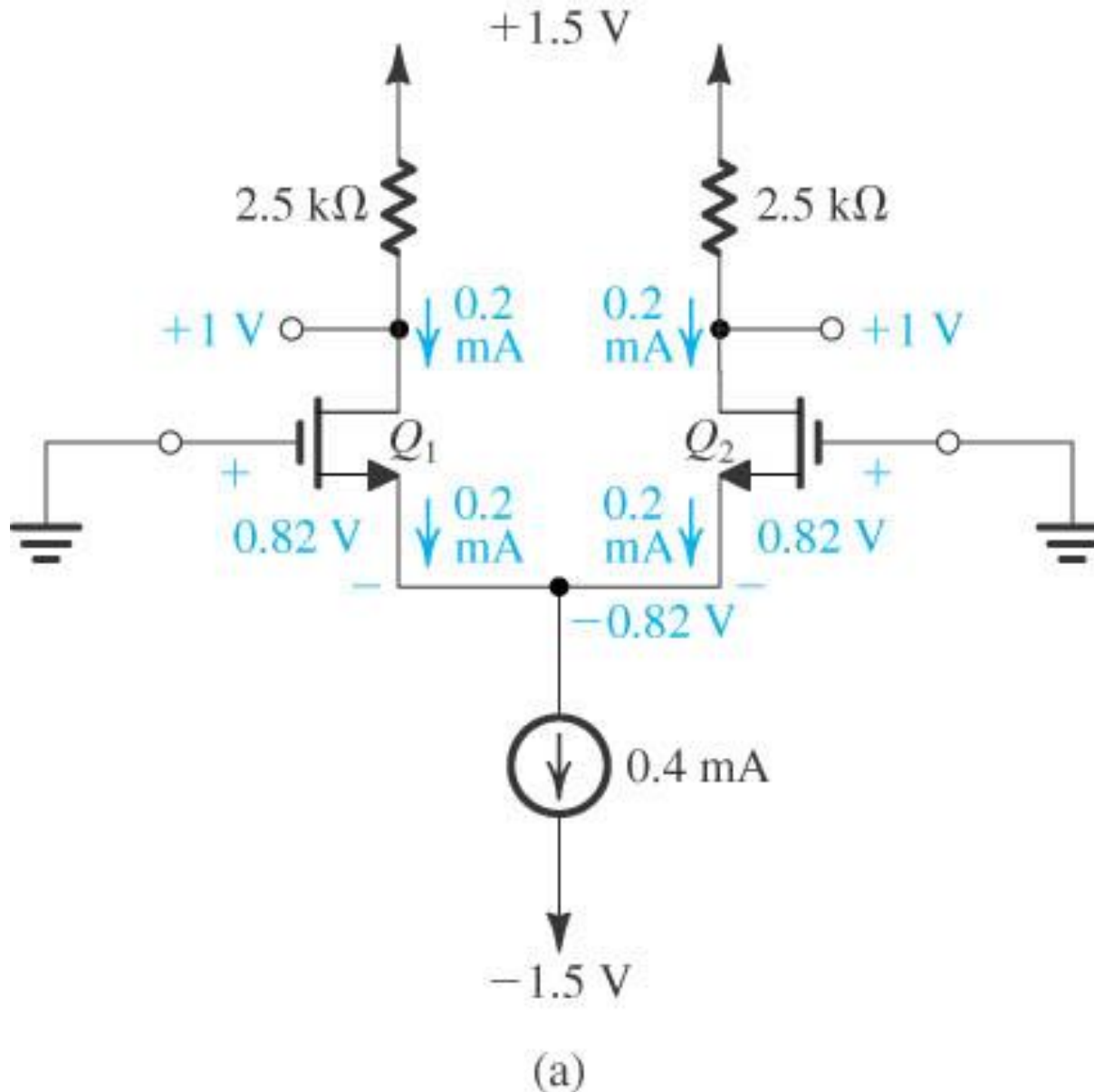
- Determine V_{OV} e V_{GS} para cada um dos transistores;
- Para $v_{CM} = 0$, determine v_S , i_{D1} , i_{D2} , v_{D1} e v_{D2} ;
- Repita b) para $v_{CM} = +1$ V;
- Repita b) para $v_{CM} = -0,2$ V;
- Qual o maior valor de v_{CM} que mantém Q_1 e Q_2 na saturação?
- Se a fonte de corrente I necessitar de tensão de 0,4 V para funcionar corretamente, qual o menor valor permitido para v_{CM} e para v_S ?



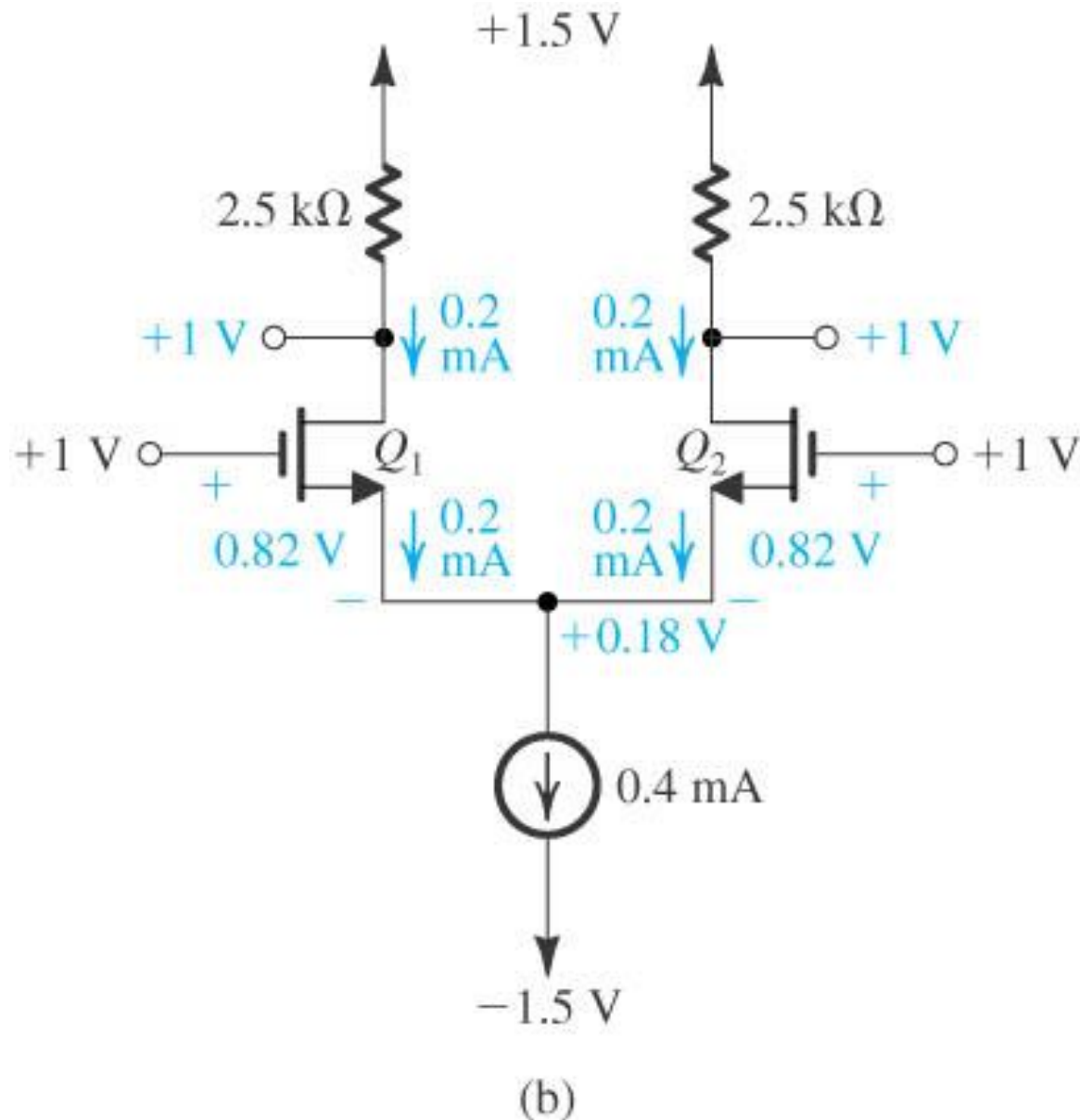
Amplificadores Diferenciais



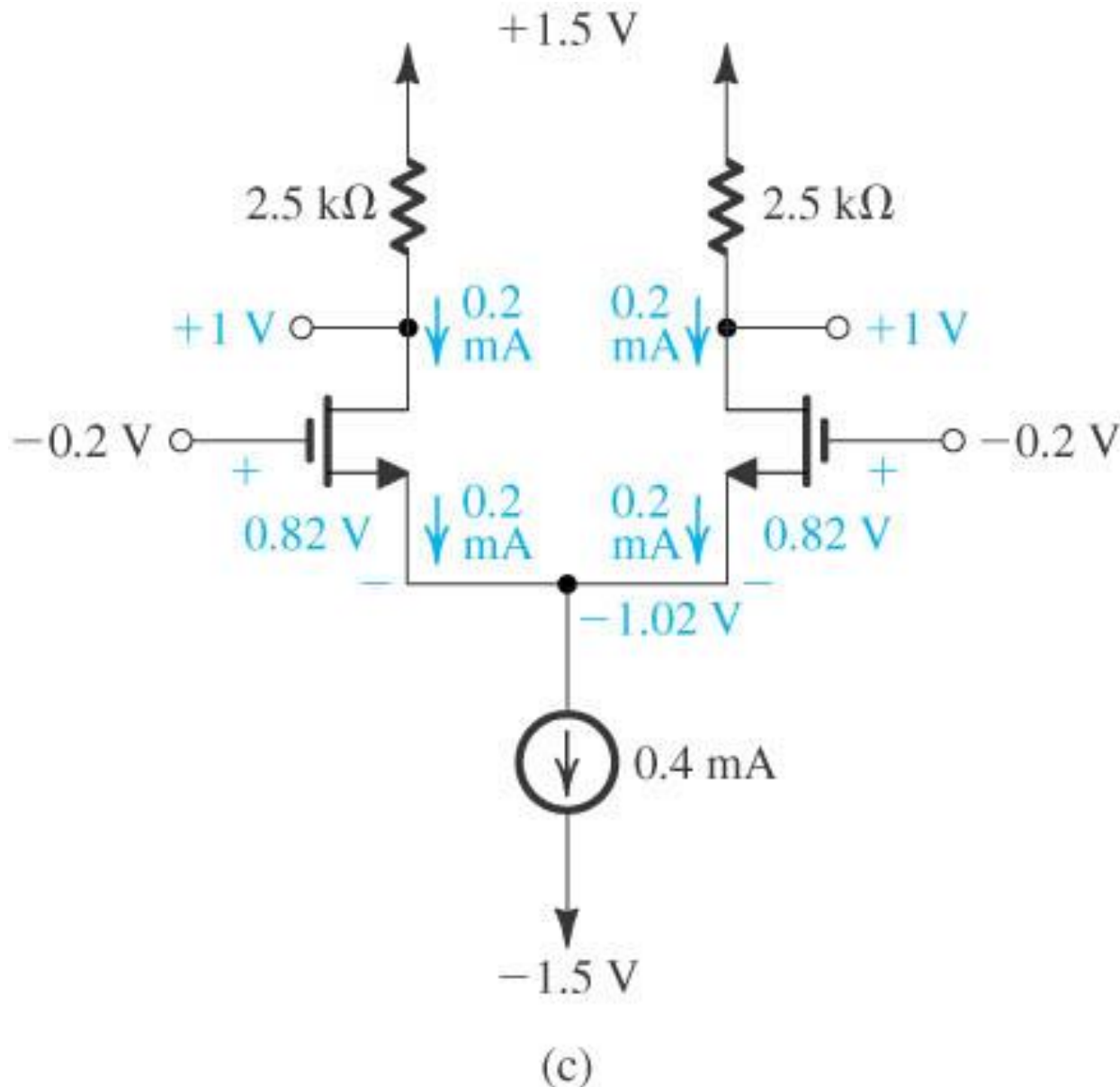
Amplificadores Diferenciais



Amplificadores Diferenciais

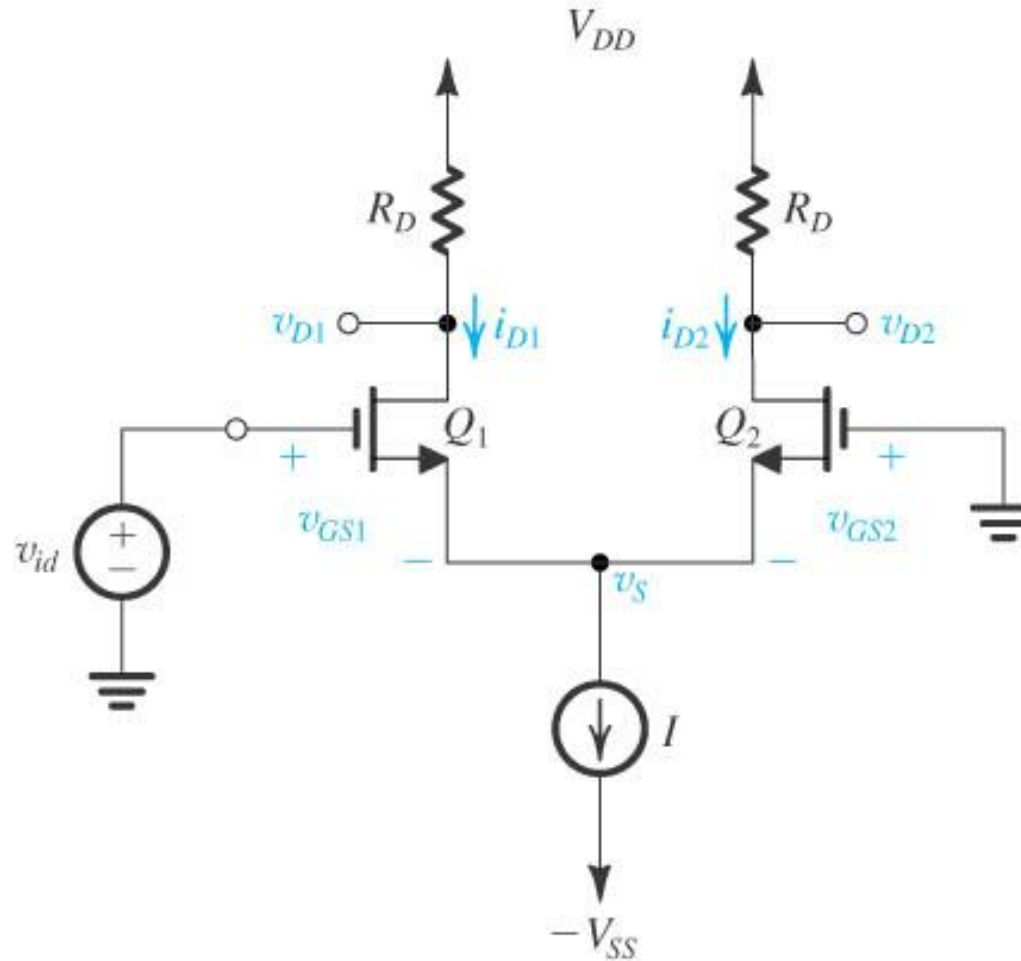


Amplificadores Diferenciais



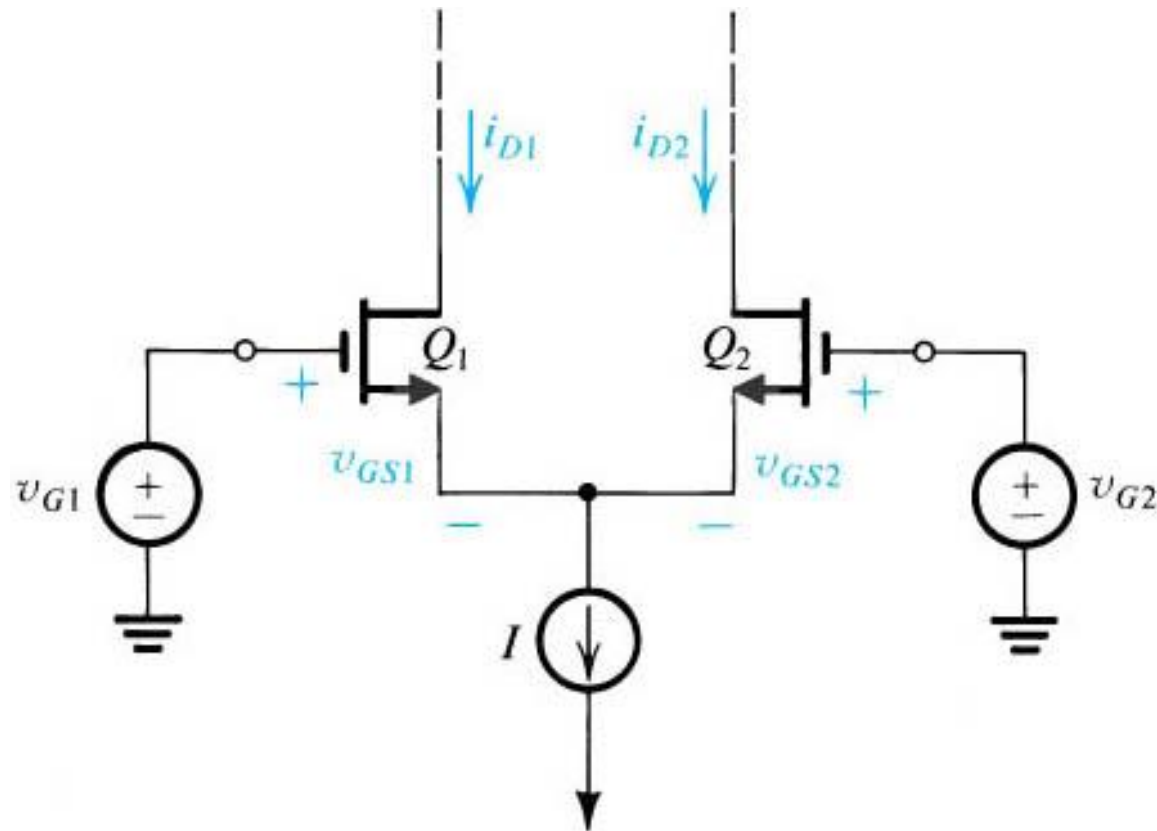
Amplificadores Diferenciais

Operação em Modo Diferencial



Amplificadores Diferenciais

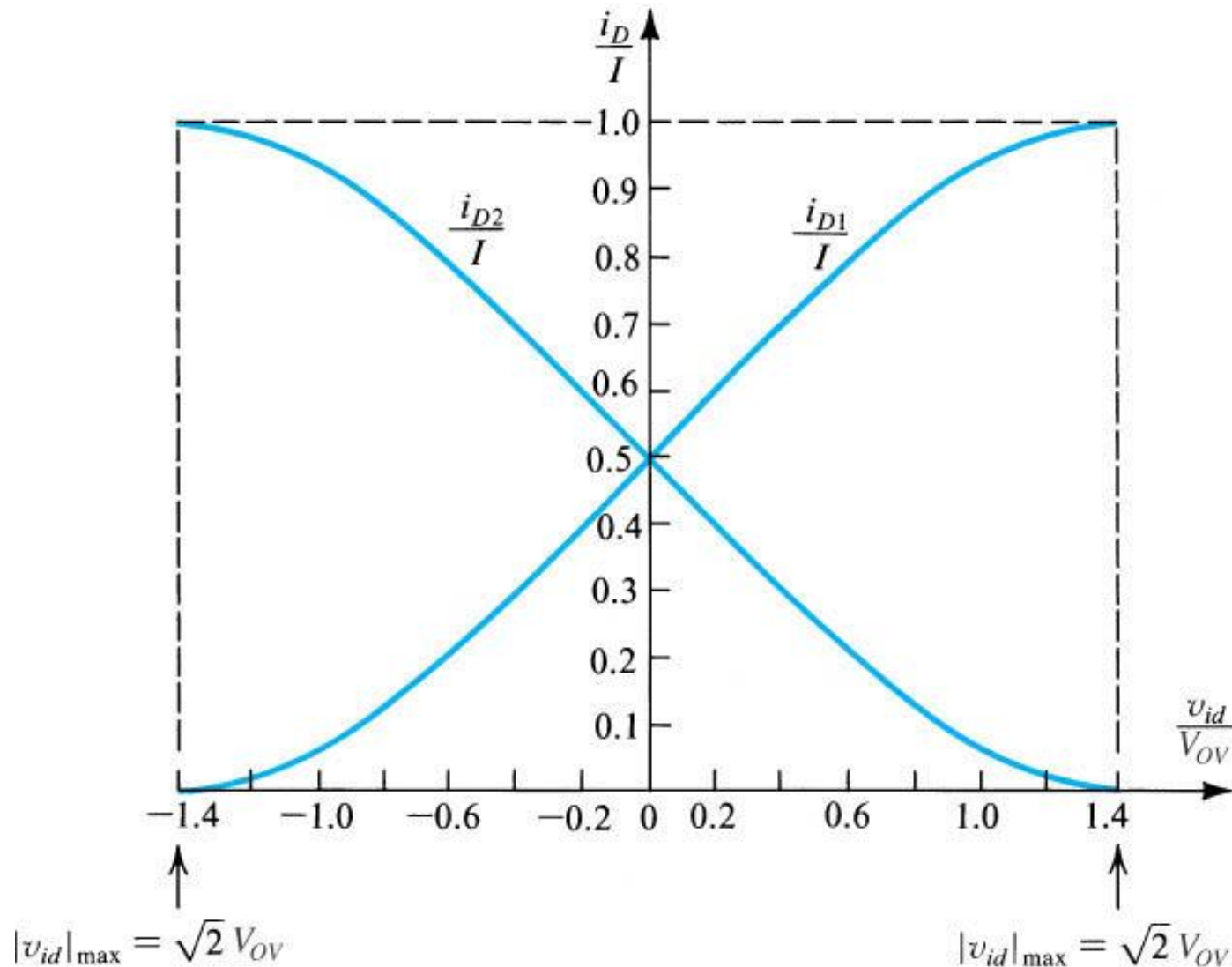
Operação em Modo Diferencial



$$-\sqrt{2}V_{ov} \leq v_{id} \leq \sqrt{2}V_{ov}$$

Amplificadores Diferenciais

Variação das correntes de dreno devido a tensão diferencial de entrada



Amplificadores Diferenciais

Região de operação Linear

$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}} \right)^2}$$

$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{v_{id}/2}{V_{OV}} \right)^2}$$

Aproximação por
pequenos sinais

$$\frac{v_{id}}{2} \ll V_{OV}$$

$$i_{D1} = \frac{I}{2} + \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

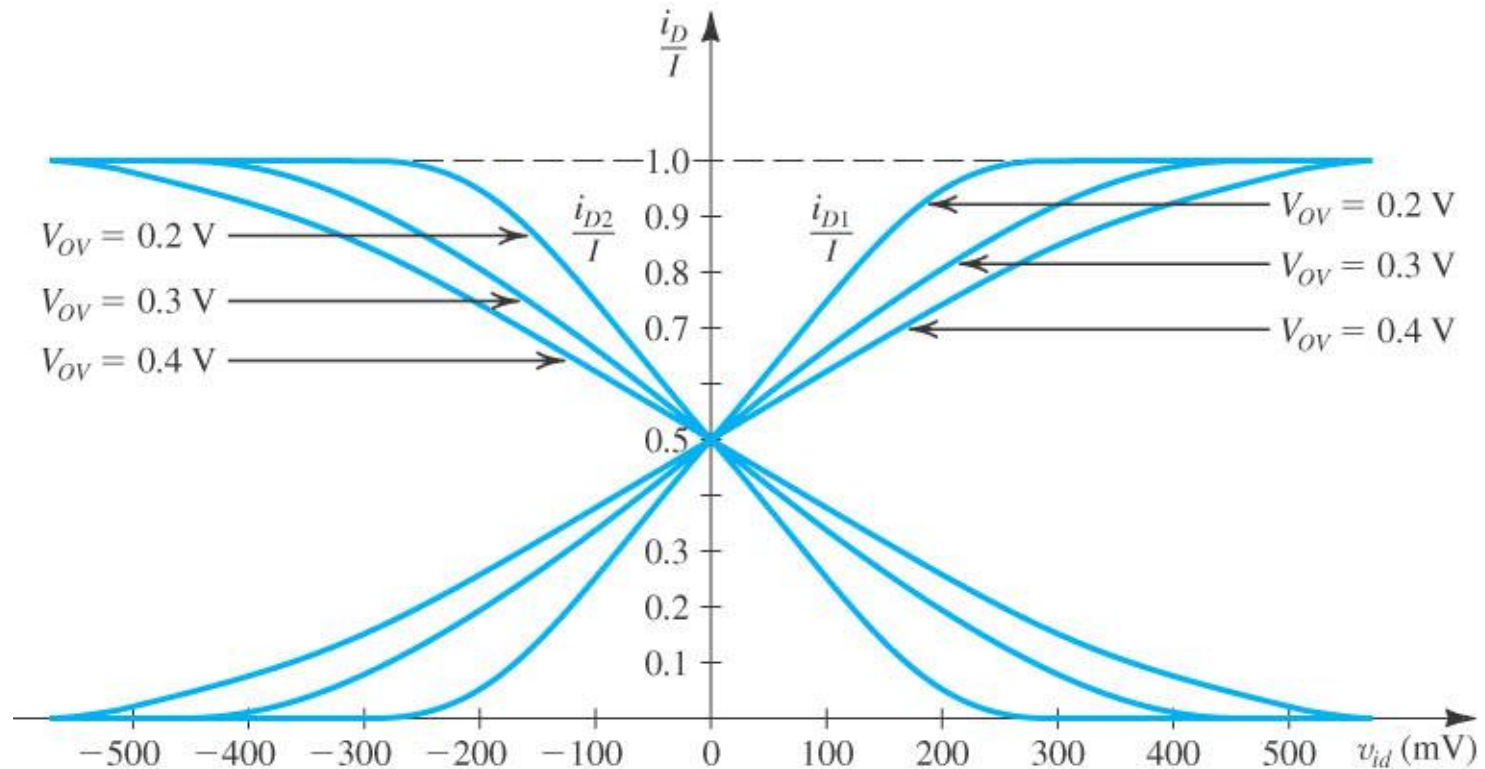
$$i_{D2} = \frac{I}{2} - \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$i_d = \left(\frac{I}{V_{OV}} \right) \left(\frac{v_{id}}{2} \right)$$

$$g_{m_{DIF}} = \frac{i_d}{v_{id}} = \frac{I}{2V_{OV}}$$

Amplificadores Diferenciais

Faixa Linear de operação do par diferencial MOS em relação a transcondutância



$$g_{m_{DIF}} = \frac{I}{2V_{OV}} \quad g_{m_{MOS}} = \frac{2I_D}{V_{OV}}$$

Amplificadores Diferenciais

Sugestão de Estudo:

- Sedra & Smith 5ed.

Cap. 7, item 7.1

- Razavi. 2ed.

Cap. 10, item 10.1

Cap. 10, item 10.3 até 10.33

Exercícios correspondentes.

Para saber mais:

Razavi - *Design of Analog CMOS Integrated Circuits*, cap. 4